Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال سی و دوم، شمارۀ چهارم، زمستان ۱۴۰۳، از صفحۀ ۶۴۵ تا ۶۵۴

سنگ‌شناسی دگرگونی مجاورتی سنگ‌های سازند کهر در کرانه شمالی توده گرانیتوئیدی میشو (جنوب غرب مرند، شمال غرب ایران)

نیلوفر روشن روان [*]، رباب حاجی علی اوغلی، محسن موید

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۲/۱۵)

چکیده: هاله دگرگونی میشو با پهنای حدود یک کیلومتر در کرانه توده گرانیتوئیدی کادومین درجنوب غرب مرند استان آذربایجان شرقی واقع است. نفوذ این توده به درون سازند کهر باعث دگرگونی مجاورتی سنگ‌های دربرگیرنده از رخساره آلبیت-اپیدوت هورنفلس تا رخساره پیروکسن هورنفلس شده است. سنگ‌های هورنفلسی با ترکیب مناسب در دگرگونی‌های درجه بالا دچار ذوب‌بخشی شده‌اند. سنگ‌های دگرگونی مجاورتی میشو در جنوب عیش آباد به ترتیب افزایش درجه دگرگونی و ظهور فازهای دگرگونی عبارتند از (۱) سنگ‌های اسلیت با دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین مربوط به سازند کهر که سنگ‌مادر سنگ‌های دگرگونی مجاورتی را تشکیل می‌دهند، (۲) بیوتیت-کردیریت هورنفلس که با ظهور بیوتیت و کردیریت به صورت اسلیت لکه‌دار مشخص می‌شود، (۳) سنگ‌های آندالوزیت-کردیریت-بیوتیت هورنفلس که شامل هورنفلس‌هایی با شکفته بلورهای درشت آندالوزیت و کردیریت هستند و (۴) سنگ‌های سیلمانیت -فلدسپار پتاسیم هورنفلس که همراه با میگماتیت‌های پاره گدازشی هستند. در این پژوهش انواع سنگ‌های هورنفلسی هاله دگرگونی میشو از نظر کانی‌شناسی و بافتی در جنوب عیش آباد بررسی شد و ترکیب شیمیایی و محیط زمین‌ساختی سنگ مادر آنها مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: *سنگ نگاری؛ کانی شناسی؛ میشو.*

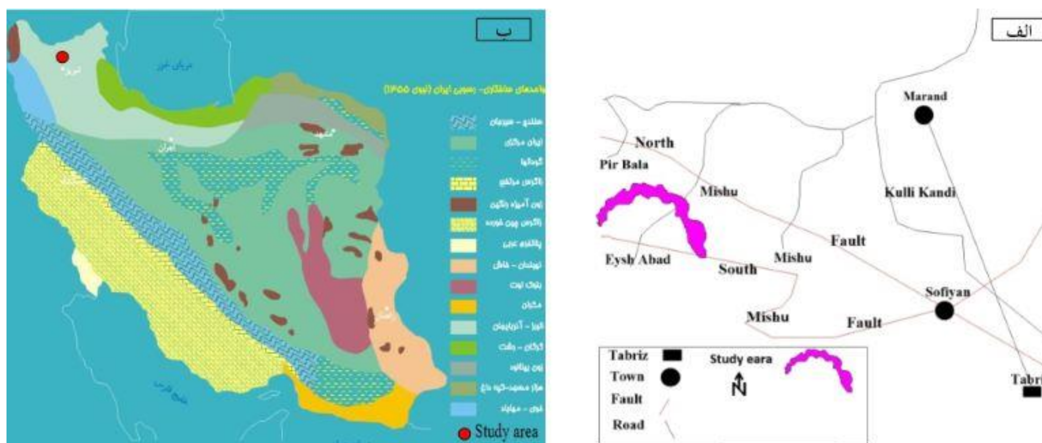
مقدمه

دگرگونی سنگ‌های رسی در هاله‌های مجاورتی از دیرباز موضوع بررسی‌های برجسته سنگ‌شناسی دگرگونی بوده است. با شناسایی مجموعه‌های کانی‌شناسی و بر اساس تغییرات بافتی در سنگ‌های رسی دگرگونه (متاپلیتی)، رخساره‌ها و دگرگونی‌های هاله‌های مجاورتی را می‌توان بررسی کرد [۱]. هاله دگرگونی میشو در بین طول‌های جغرافیایی ۵َ ۳۱ً ۴۵° تا ۱۳َ ۳۸ً ۴۵° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۴۸َ ۱۹ً ۳۸° تا ۲۲ً ۲۷َ ۳۸° شمالی، در جنوب غرب شهرستان مرند، شمال غرب ایران واقع است (شکل ۱ الف). این منطقه از دیدگاه تقسیم‌های زمین‌شناسی ایران بخشی از پهنه البرز-آذربایجان را تشکیل می‌دهد (شکل ۱ ب) [۲]. توده گرانیتوئیدی میشو به سن کادومین و با گسترش تقریبی ۵۰ کیلومتر مربع به شکل نعل اسبی بین گسل‌های شمالی و جنوبی میشو رخنمون دارد. ترکیب سنگ‌شناسی این توده شامل مجموعه سنگی با طیف ترکیبی دیوریت تا لوکوگرانیت است. گرانیت‌های نوع I به سن 570–600Ma و گرانیت‌های نوع S برآمده از ذوب‌بخشی سنگ‌های پوسته پسین به سن 570–540 Ma هستند [۳].

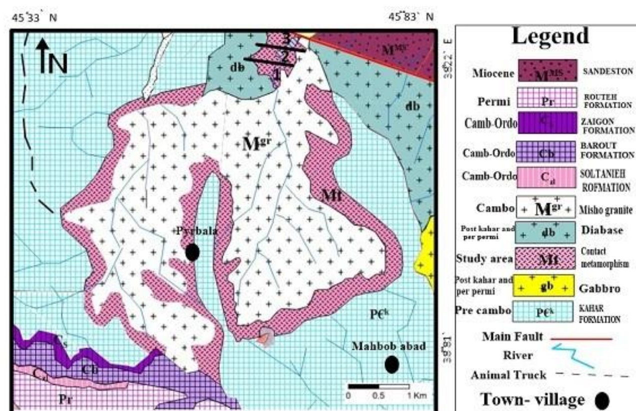
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۶۸۰۱۳۹۱۱، پست الکترونیکی: Niloofar.ros@gmail.com

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.645]

سنگ‌شناسی سنگ‌های دربرگیرنده توده گرانیتوئیدی میشو در اصل مربوط به سازند کهر و سنگ‌های گابرو و دیابازی قدیم (به سن احتمالی پرکامبرین) هستند و سازندهای سلطانیه و باروت به طور محدود در کرانه جنوبی توده گرانیتوئیدی میشو رخنمون دارند. نفوذ توده نام برده به درون این سنگ‌ها باعث دگرگونی مجاورتی و تشکیل انواع سنگ‌های هورنفلسی با درجه‌های دگرگونی پایین تا بالا و میگماتیت‌های پاره گدازشی شده است. در این پژوهش، انواع سنگ‌های هورنفلس رسی در هاله دگرگونی میشو در جنوب عیش آباد از نظر کانی‌شناسی و بافتی بررسی گردیده و پهنه‌های دگرگونی مجاورتی آن معرفی شده است (شکل ۲).



شکل ۱ (الف) راه دسترسی به منطقه میشو، (ب). این منطقه از دیدگاه تقسیم‌های زمین‌شناسی ایران بخشی از پهنه البرز -آذربایجان [۲] را تشکیل می دهد.





شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی برگرفته از نقشه سازمان زمین‌شناسی ایران.

زمین شناسی منطقه

سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی در کوه‌های میشو دارای طیف سنی از پرکامبرین (مرز نئوپروتروزوئیک پسین با کامبرین مربوط به سازند کهر)، پالئوزوئیک (سازندهای سلطانیه و باروت) و مزوزوئیک (سازندهای الیکا، شمشک، تیزکوه و واحد کرتاسه پیشین) هستند. توده گرانیتوئیدی میشو در جنوب عیش آباد به درون سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای ضعیف مربوط به سازند کهر به سن پرکامبرین نفوذ کرده است (شکل ۳). سازند کهر در پهنه البرز - آذربایجان مانند پهنه‌های ایران مرکزی و پهنه سنندج –سیرجان گسترش وسیعی دارد و با سنگ‌های رسوبی کامبرین (سازندهای سلطانیه، باروت، لالون و زاگون) و اردوویسین (سازند میلا) پوشانده شده است [۵،۴]. سازند کهر در کوه‌های میشو دربردارنده سنگ‌های دگرگونی درجه پایین رخساره شیست سبز شامل شیل‌های دگرگون در حد اسلیت و فیلیت، ماسه سنگ دگرگون شده و متاتوف با میان لایه‌هایی از سنگ‌های آهکی دگرگونه است این سنگ‌ها سپس طی نفوذ توده گرانیتوئیدی کادومین میشو به صورت مجاورتی نیز دگرگون شده و رخساره‌های دگرگونی مجاورتی آلبیت-اپیدوت هورنفلس تا پیروکسن-هورنفلس و میگماتیت - های ذوب‌بخشی در این ارتباط تشکیل شده‌اند. سنگ‌های مافیک شامل گابرویی و دیابازی در شمال و شمال شرق هاله برونزد دارند. سن دقیق این واحد مشخص نیست ولی از آنجا که این سنگ‌ها به درون سازند کهر نفوذ کرده و رگه‌ها و دایک‌هایی از توده گرانیتی شرق میشو نیز سنگ‌های مافیک گابرویی را قطع کرده‌اند، بر اساس شواهد صحرایی سن احتمالی سنگ‌های مافیک هاله دگرگونی میشو جوانتر از کهر و قدیمی‌تر از توده گرانیتوئیدی تعیین می‌شود. توده گرانیتوئیدی میشو به طور پیشرونده با رسوب‌های پرمین پوشانیده شده است. بر این اساس، سن توده گرانیتوئیدی میشو نیز پس از پرکامبرین و پیش از پرمین تعیین می‌شود. هورنفلس‌های رسی تشکیل دهنده‌های اصلی سنگ‌های هاله میشو بوده و به ترتیب افزایش درجه دگرگونی شامل سنگ‌های کلریت-موسکوویت هورنفلس، موسکوویت-کردیریت هورنفلس (اسلیت و فیلیت لکه‌دار)، کردیریت-بیوتیت- آندالوزیت هورنفلس و سیلیمانیت - فلدسپار پتاسیم هورنفلس هستند.

روش انجام پژوهش

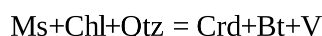
برای انجام این پژوهش، پس از بازدیدهای صحرایی و برداشت حدود ۳۰۰ نمونه از سنگ‌های منطقه، ۱۵۰ مقطع نازک تهیه و از نظر سنگ‌شناسی بررسی شدند. همچنین برای بررسی ترکیب شیمی سنگ مادر سنگ‌های دگرگونی مجاورتی میشو، ۱۰ نمونه از انواع مختلف سنگ‌های دگرگونی با کمترین دگرسانی به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی x (XRF) در شرکت زمین ریزکاوان بررسی شدند.

سنگ نگاری

سنگ‌های دگرگونی رسی (متاپلیتی) با نزدیک شدن به مرز برخوردگاه توده گرانیتوئیدی در کرانه شمالی آن عبارتند از (۱) اسلیت، (۲) بیوتیت-کردیریت هورنفلس (اسلیت لکه دار)، (۳) آندالوزیت-کردیریت-بیوتیت هورنفلس و (۴) سیلمانیت- فلدسپار پتاسیم هورنفلس که در این جا از نظر کانی شناسی و بافتی بررسی می‌شوند.

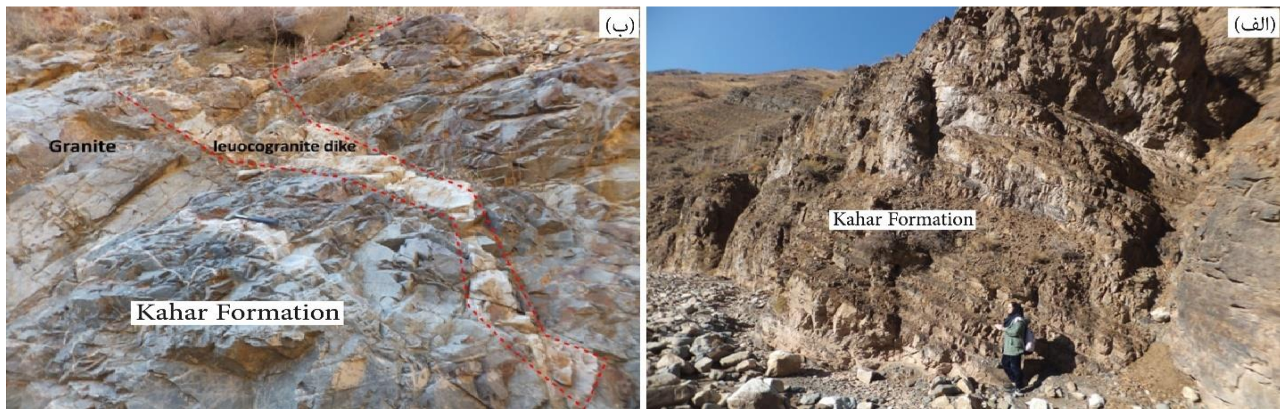
اسلیت‌ها: این سنگ‌ها مربوط به سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین کهر هستند و ترکیب سنگ مادر سنگ‌های دگرگونی مجاورتی متاپلیتی در هاله میشو را تشکیل می‌دهند. کانی‌های دگرگونی این سنگ‌ها در اصل شامل کلریت، موسکویت، پلاژیوکلاز، کوارتز و (±) بیوتیت با برگوارگی ضعیف هستند.

سنگ‌های بیوتیت-کردیریت هورنفلس یا اسلیت لکه‌دار: با نزدیک شدن به برخوردگاه توده نفوذی و افزایش درجه دگرگونی، برگوارگی ضعیف مربوط به سنگ مادر اسلیتی از بین رفته و سنگ‌های دگرگونی مجاورتی مورد بررسی بیشتر بافت هورنفلسی را نشان می‌دهند. کانی کلریت در این سنگ‌ها ناپایدار شده و کردیریت برای نخستین بار ظاهر می‌شود. کانی کردیریت در نمونه دستی به رنگ سفید و دانه درشت با اندازه چند میلی‌متر در زمینه‌ای از کانی‌های دانه‌ریز موسکوویت، پلاژیوکلاز و کوارتز تشکیل شده است (شکل ۴). در مقاطع نازک، کانی‌های کردیریت به صورت شکفته بلور و با بافت خال خال هستند و اغلب به سرسیت یا مسکوویت‌های دانه‌ریز دگرسان شده‌اند (شکل‌های ۵ و ۶). کانی‌های کردیریت در این سنگ‌ها نخستین کانی شاخص دگرگونی مجاورتی هستند. شواهد بافتی نشان می‌دهد که تشکیل و رشد کانی‌های کردیریت با مصرف کلریت همراه بوده است. واکنش تشکیل کردیریت از شکست کانی کلریت به صورت زیر پیشنهاد می- شود:

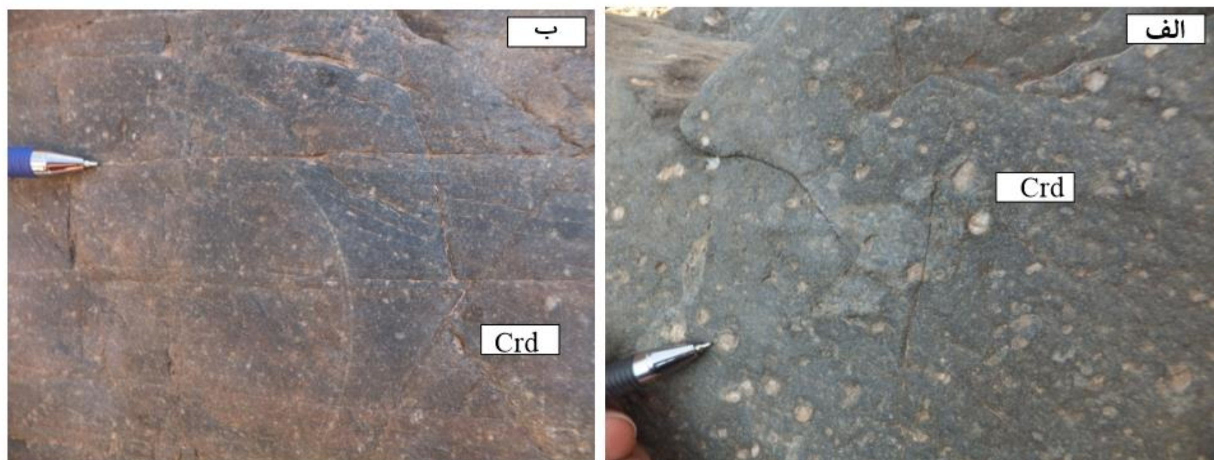


$$Ms+Chl+Qtz = Crd+Bt+V \qquad (۱)$$

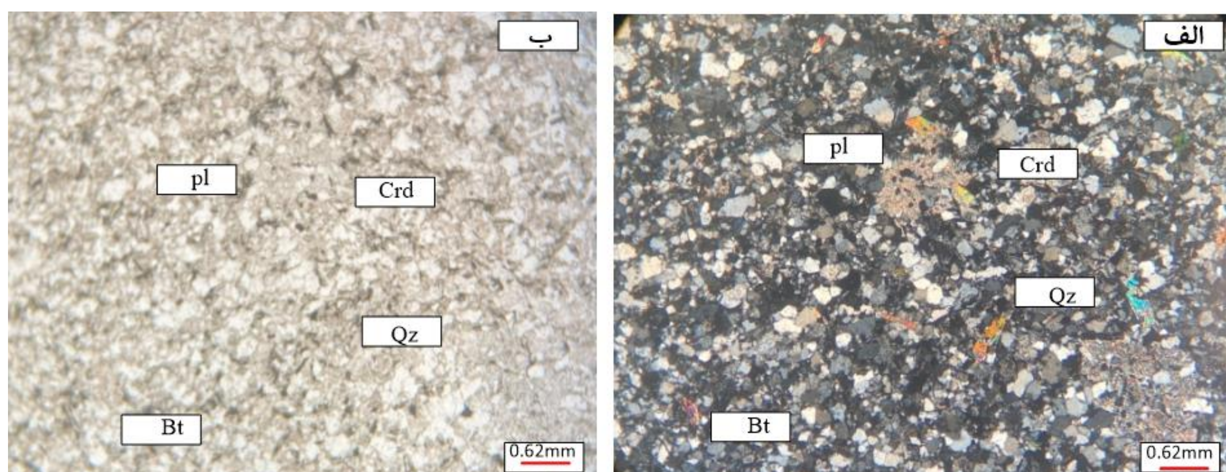
[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.645]



شکل ۳ تصاویر صحرایی از رخنمون سنگ‌ های منطقه. (الف) سازند کهر، (ب) برخوردگاه سازند کهر با توده گرانیتوئیدی میشو. دایک لوکوگرانیتی در این تصویر توده گرانیتی و سنگ‌های سازند کهر را قطع کرده است.

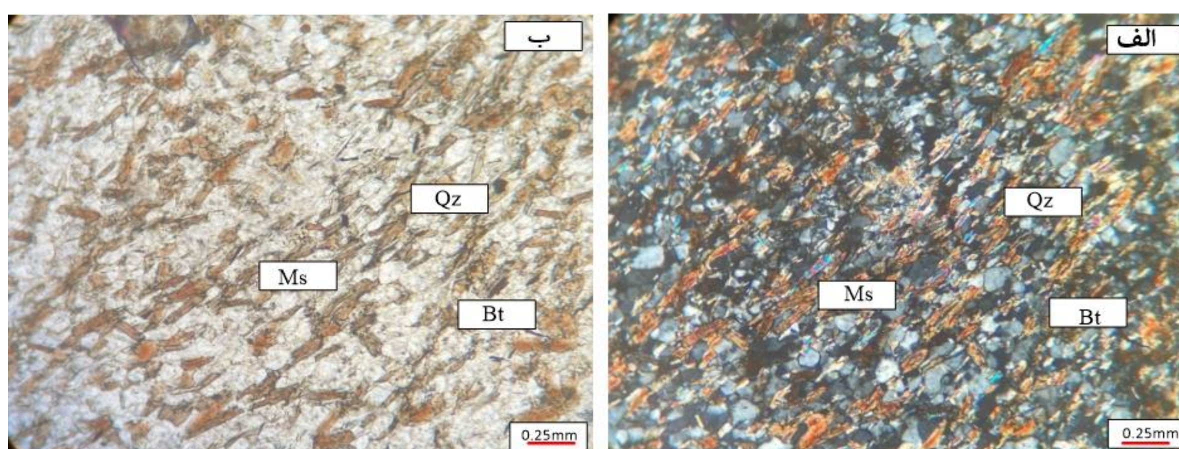


شکل۴ نمونه های دستی از اسلیت لکه‌دار در هاله دگرگونی میشو. کانی‌های کردیریت به شکل لکه های سفید رنگ در سنگ دیده می‌شوند.



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از اسلیت لکه‌دار (الف: در نور قطبیده صفحه‌ای، PPL، و ب در نور قطبیده متقاطع، XPL). کردیریت به صورت درشت و با بافت لکه‌ای در زمینه دانه‌ریز از سایر کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و بیوتیت دیده می‌شود.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.645]



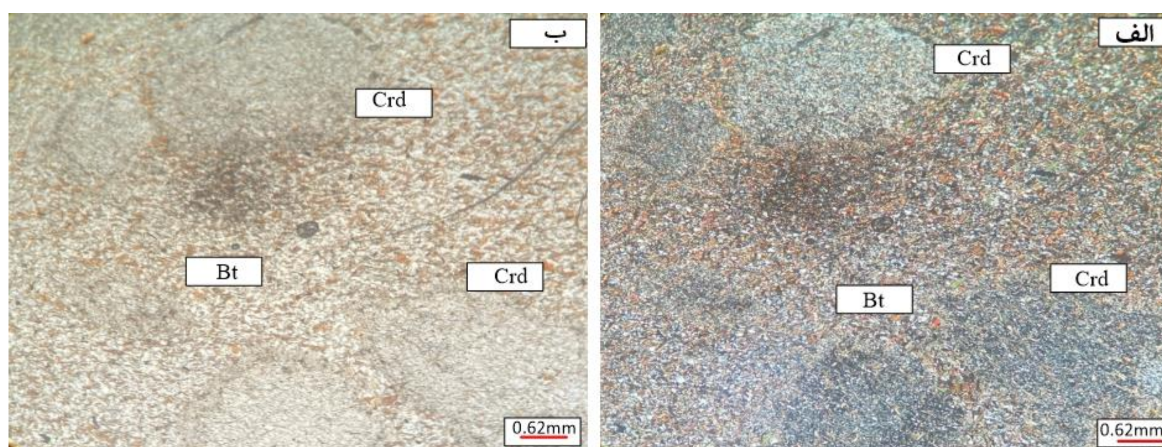
شکل ۶ رشد مسکوویت و بیوتیت در راستای برگوارگی در بیوتیت-کردیریت هورنفلس (الف در PPL و ب در XPL).

سنگ‌های آندالوزیت-کردیریت-بیوتیت هورنفلس: در این سنگ‌ها، کانی آندالوزیت برای نخستین بار ظاهر شده است. مجموعه کانی‌های دگرگونی شامل آندالوزیت، کردیریت، بیوتیت، کوارتز، پلاژیوکلاز، (±) موسکوویت و گرافیت هستند. اندازه کانی‌های شکفته بلور آندالوزیت به ۲-۳ میلی متر می‌رسد. شکفته بلورهای آندالوزیت در برخی از نمونه‌ها کاملا به سرسیت تجزیه شده‌اند و شبه‌ریخت نشان می‌دهند (شکل‌های ۷ تا ۹). بافت این سنگ‌ها از نوع پورفیری دانه‌شکفتی است. شکفته بلورهای کردیریت، آندالوزیت، نسبت به برگوارگی اولیه به صوریت اریب رشد کرده‌اند (شکل ۷). شکفته بلورهای آندالوزیت و کردیریت در بردارنده‌ی تعداد بیشماری از میانبارها هستند که جهت‌یابی برخی از آنها موازی با بافت زمینه است. بیشتر شکفته بلورهای کردیریت اغلب تخم مرغی شکل هستند و تقریباً به طور کامل با فراورده‌های ناشی از دگرگونی پسرونده شامل سنگدانه‌هایی از کانی‌های دانه‌ریز کلریت و مسکوویت جایگزین شده‌اند (دگرسانی پنیتی شدن). بیوتیت در اندازه به نسبت درشت به صورت شکفته بلور در سنگ حضور دارد و گاهی نیز به صورت میانبار در شکفته بلورهای آندالوزیت و کردیریت دیده می‌شود. با افزایش درجه دگرگونی اندازه و مقادیر مو و مقادیر مودال بیوتیت در هورنفلس‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد. در برخی از هورنفلس‌ها بلورهای کردیریت و آندالوزیت با پوششی از بلورهای بیوتیت دربرگرفته شده‌اند. مسکوویت در مقادیر فرعی در زمینه دانه‌شکفتی و همچنین در راستای برگوارگی اولیه سنگ دیده می‌شود.

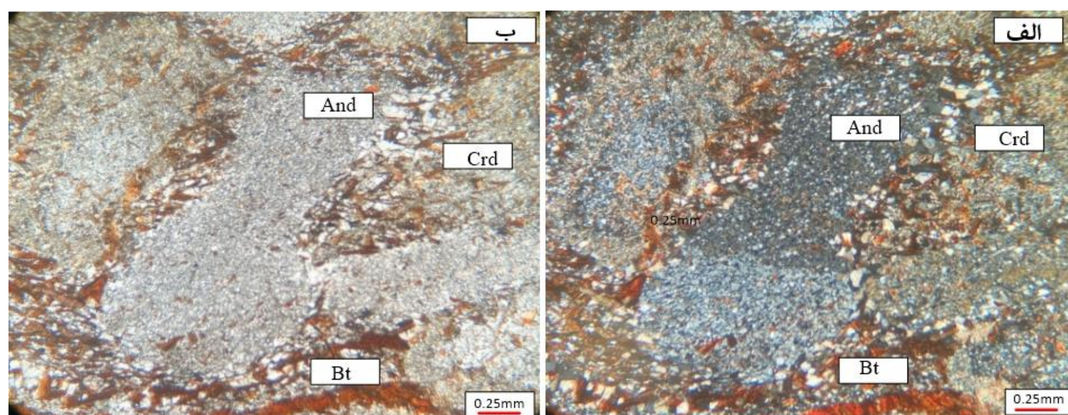
واکنش تشکیل آندالوزیت و بیوتیت با شکست کانی‌های موسکوویت و کردیریت به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:



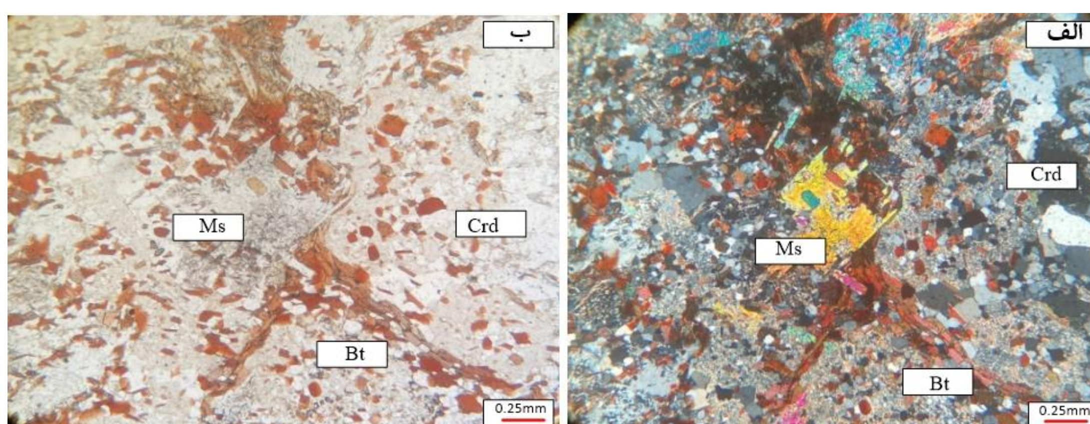
$$Ms + Crd = And + Bt + Qtz + H_2O \qquad (۲)$$



شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی از آندالوزیت-کردیریت -بیوتیت هورنفلس. کانی‌های کردیریت و آندالوزیت به مسکوویت‌های دانه‌ریز تجزیه شده‌اند (الف در PPL و ب در XPL).



شکل ۸ اندازه شکفته بلور آندالوزیت و کردیریت تا یک سانتی‌متر می‌رسد. در مقاطع نازک، شکفته بلورهای کردیریت و آندالوزیت نسبت به برگوارگی به صورت اریب رشد نموده‌اند. بیوتیت‌ها در خمیره نیز دیده می‌شوند (الف در PPL و ب در XPL).



شکل ۹ آندالوزیت-کردیریت هورنفلس. درشت‌شدگی کانی‌ها و بافت هورنفلسی سنگ با افزایش درجه دگرگونی دیده می‌شود (الف در PPL و ب در XPL).

سیلمانیت -فلدسپار پتاسیم-کردیریت هورنفلس: این سنگ‌ها در نزدیک به برخوردگاه توده گرانیتوئیدی تشکیل شده‌اند. سیلمانیت و فلدسپار پتاسیم به صورت شکفته بلور در این سنگ‌ها برای نخستین بار ظاهر شده‌اند (شکل‌های ۱۰ تا ۱۲). شکفته بلور فلدسپارپتاسیم دارای بافت غربالی با میانبارهای فراوانی از کوارتز و بیوتیت است. بافت سنگ پورفیری دانه-شکفتی است. برخی از این سنگ‌ها در درجه دگرگونی‌های بالا دچار ذوب‌بخشی شده‌اند و میگماتیت‌های پاره گدازشی تشکیل شده است.

واکنش پیشنهادی برای ظهور سیلیمانیت به صورت زیر است:



$$And=Sil \quad (۳)$$

افزایش شکفته بلورهای فلدسپار پتاسیم و سیلیمانیت با کاهش مقادیر مودال کانی‌های مسکوویت واکنش زیر را پیشنهاد می‌کند:



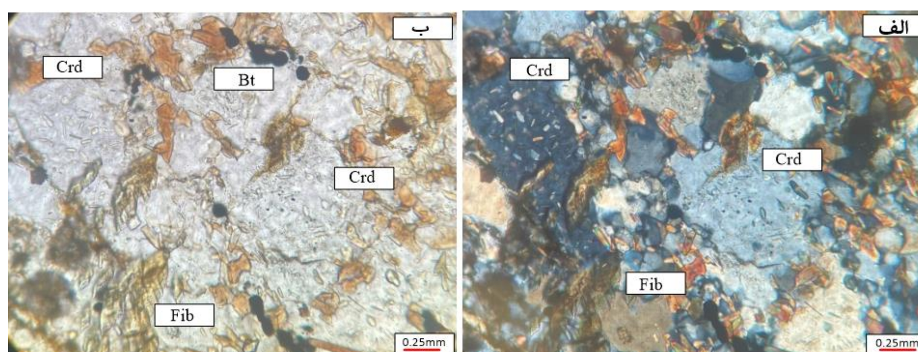
$$Ms+Qtz=Sil+Kfs+H_2O \quad (۴)$$

براساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، در برخی از نمونه‌ها سنگدانه-های کوچکی از سیلیمانیت‌ها در کنار بیوتیت و یا کوارتز دیده می‌شوند این نوع سیلیمانیت‌ها بر اساس رده‌بندی مرجع [۶]، فیبرولیت نامیده می‌شوند. به احتمال بسیار گسترش فیبرولیت-های اولیه در نتیجه واکنش‌هایی هستند که سیال‌ها در آن‌ها نقش کاتالیزور را دارند [۷]. در برخی از سنگ‌های مورد بررسی، فیبرولیت به صورت‌بخشی جانشین بیوتیت و آندالوزیت شده است. این جانشینی در طول شکستگی‌ها و یا در مرز دانه-ها دیده می‌شود. این ویژگی می‌تواند شاهدی بر تشکیل و گسترش فیبرولیت‌ها در ارتباط با جریان سیال‌ها باشد. واکنش ظهور فلدسپارپتاسیم در این سنگ‌ها به صورت زیر پیشنهاد می شود:

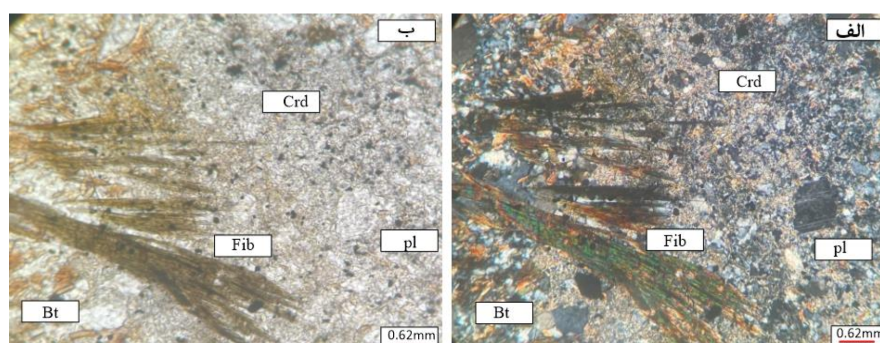


$$Bt+And+Qtz=Crd+Kfs+ H_2O \text{ or Melt} \quad (۵)$$

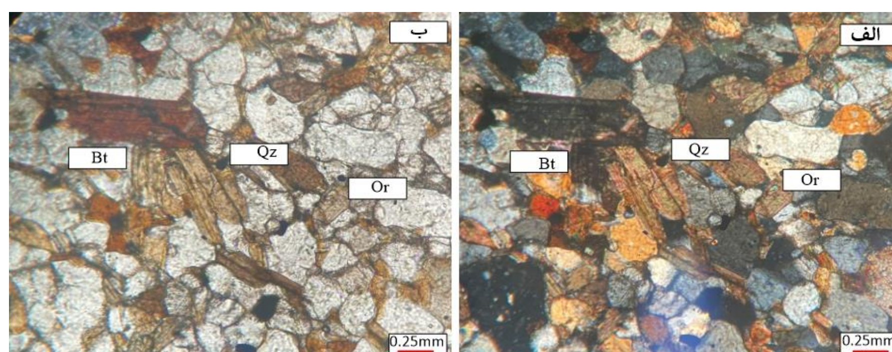
[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.645]



شکل ۱۰ تصویر میکروسکوپی از سیلیمانیت-فلدسپار پتاسیم هورنفلس. رشد سیلیمانیت از نوع فیبرولیت در مرز دانه‌ها و در طول شکستگی‌ها دیده می‌شود (الف: PPL و ب: XPL).



شکل ۱۱ سنگدانه‌های کوچکی از سیلیمانیت‌ها در کنار بیوتیت و یا کوارتز دیده در فلدسپار پتاسیم-سیلیمانیت هورنفلس (الف در PPL و ب در XPL).



شکل ۱۲ بیوتیت، کوارتز، فلدسپار پتاسیم با بافت دانه شکفتی درشت در فلدسپارپتاسیم-سیلیمانیت هورنفلس (الف در PPL و ب در XPL).

میگماتیت‌های پاره گدازشی در هاله دگرگونی مجاورتی میشو

هورنفلس‌های رسی در هاله دگرگونی میشو در دماهای بالا ذوب شده و میگماتیت‌های پاره گدازشی تشکیل شده‌اند. این میگماتیت‌ها دارای بخش‌های روشن رنگ (بخش روشن) و تیره رنگ (ملانوسوم) هستند. بخش‌های روشن ساختار رگه‌ای و قطره‌ای دارند و از کانی‌های درشت بلور فلدسپار پتاسیم و کوارتز بی شکل به صورت بین دانه‌ای تشکیل شده‌اند (شکل ۱۳). کانی‌های کوارتز در بخش روشن خاموشی موجی نشان می‌دهند که نشانگر تبلور از مذاب در مراحل آخر تبلور است. مقادیر مودال کانی‌های آهن و منیزیم‌دار چون بیوتیت و کردیریت در بخش‌های روشن کم است. بخش‌های روشن دانه‌ای است. بخش‌های تیره دارای بافت دانه‌شکفتی شامل کانی های بیوتیت، سیلیمانیت و کردیریت هستند. بیوتیت در بخش‌های روشن، اندازه درشت‌تری نسبت به بخش‌های تیره و تیره روشن دارد. بررسی‌های تجربی نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی مذاب برآمده از ذوب‌بخشی سنگ‌های رسی، گرانیتی است [۸].

واکنش ذوب پیشنهادی برای تشکیل میگماتیت‌های پاره گدازشی مورد بررسی به صورت زیر است:

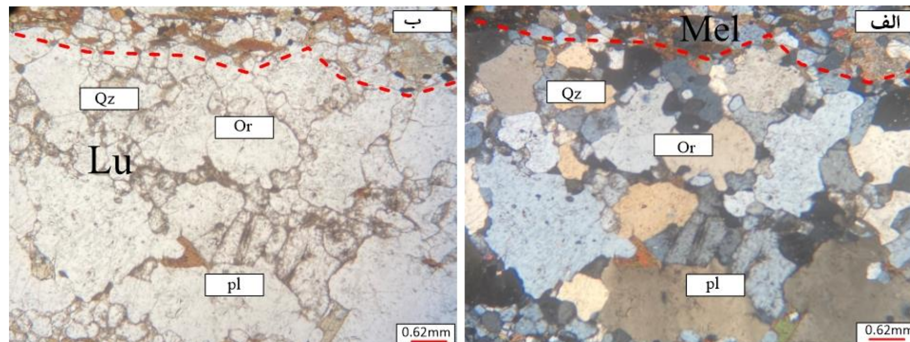

$Bt+Sil+Qtz=Crd+Kfs+H_2O$ Or Melt

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.645]

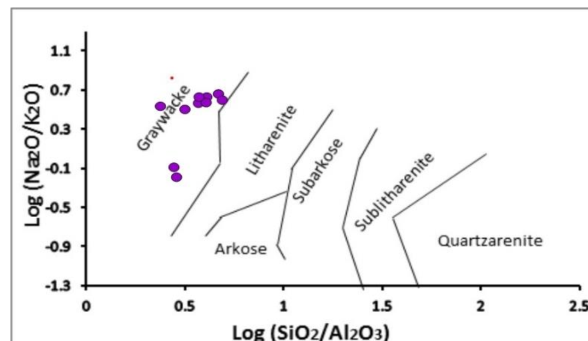

$Qtz + Kfs + Crd + H2O = Melt$

ترکیب سنگ مادر سنگ‌های دگرگونی مجاورتی میشو

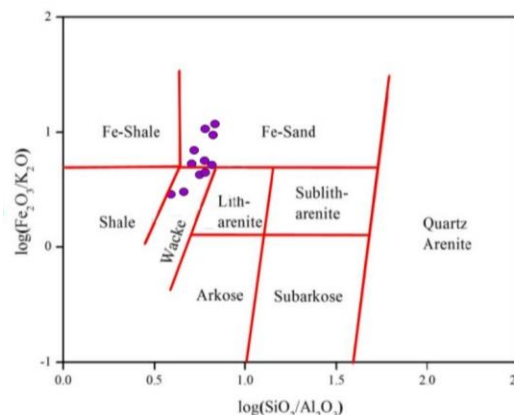
یکی از اهداف بررسی‌های در سرزمین‌های دگرگونی تشخیص دقیق سنگ مادر در سنگ‌های مورد بررسی است. برای نیل به این هدف می‌توان از معیارهای گوناگونی استفاده کرد، امروزه استفاده از معیارهای شیمیایی، که بر پایه‌ی آنالیزهای عناصر اصلی و عناصر فرعی بنا شده رایج می‌باشد. برای این منظور از نمودارهای [۹،۱۰] استفاده شده است، محورهای این نمودارها تغییرات لگاریتمی اکسیدهای سازنده را نشان می‌دهند. نمونه‌های مورد بررسی بر اساس این نمودارها در محدوده‌های گری وک و ماسه سنگ آهن‌دار تا گریوک قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).



شکل ۱۳ شواهد میکروسکوپی از ذوب‌بخشی در میگماتیت‌های منطقه که نشان می‌دهد که بخش‌های روشن دارای فلدسپار پتاسیم، کوارتز و پلاژیوکلاز هستند (الف در PPL و ب در XPL).



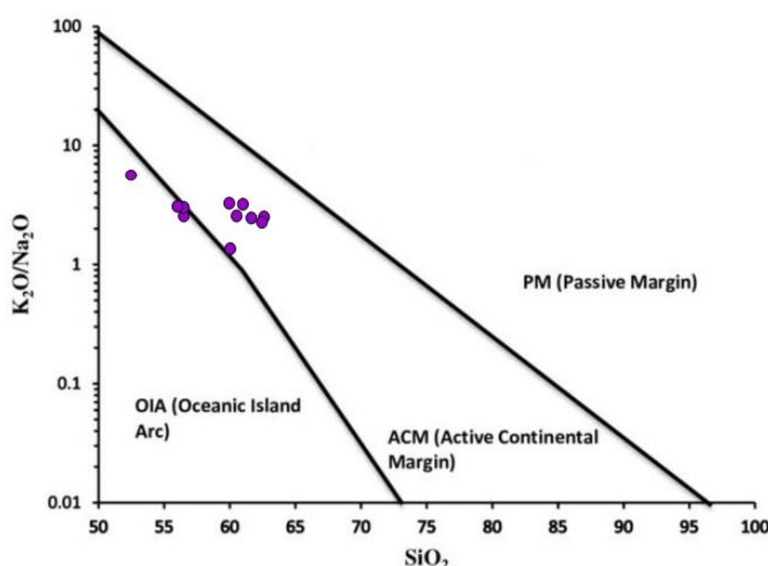
شکل ۱۴ ترکیب سنگ مادر هورنفلس‌ها در هاله دگرگونی مجاورتی میشو بر پایه نمودار $Log (Na_2O/K_2O)$ نسبت به $Log SiO_2/Al_2O_3$) [۹]. مرز ها توسط داده‌های مرجع [۱۰] اصلاح شده است. ترکیب سنگ مادر در سنگ‌های دگرگونی مجاورتی میشو در گستره ماسه سنگ تیره است.



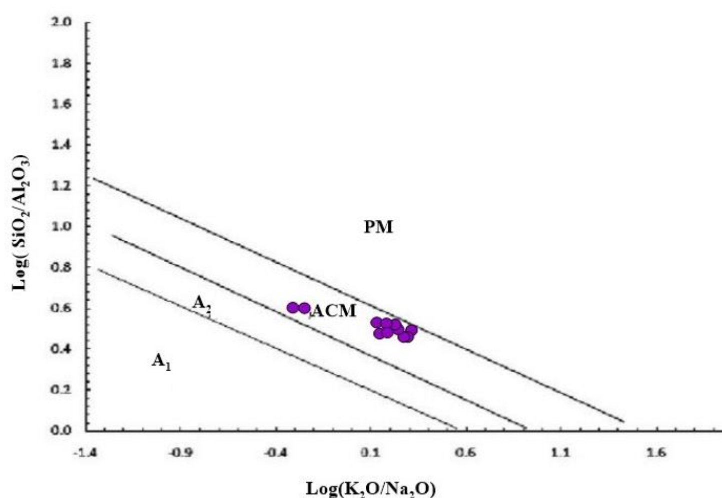
شکل ۱۵ ترکیب سنگ مادر انواع سنگ‌های هورنفلسی در هاله دگرگونی مجاورتی میشو براساس نمودار $Log (Fe_2O_3/K_2O)$ نسبت به $Log(SiO_2/Al_2O_3)$ [۱۰] که نمونه‌های مورد بررسی در گستره ماسه سنگ آهن‌دار تا ماسه سنگ تیره قرار دارند.

محیط زمین‌ساختی سنگ مادر سنگ‌های دگرگونی مجاورتی میشو

ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های دگرگون شده رسوبی ارتباط نزدیکی با جایگاه زمین‌ساختی حوضه تشکیل رسوب دارد [۱۱]. تشخیص جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های رسوبی را می‌توان بر پایه ویژگی زمین‌شیمی آن‌ها مشخص کرد [۱۲-۱۴] بر پایه نمودار مقدار K_2O/Na_2O نسبت به SiO_2 [۱۲] محیط‌های زمین‌ساختی سنگ‌های رسوبی کرانه غیر فعال (PM)، کرانه فعال قاره‌ای (ACM)، جزایر اقیانوسی (OIB)، تعیین شده‌اند، در نمودار K_2O/Na_2O نسبت به SiO_2 ترکیب سنگ مادر هورنفلس‌های مورد بررسی در گستره کرانه فعال قاره و کمان ماگمایی قاره‌ای قرار دارد (شکل ۱۶). نمودار Log (K_2O/Na_2O) نسبت به Log (SiO_2/Al_2O_3)، [۱۴] ویژگی - های کرانه فعال تا کمان ماگمایی قاره‌ای را برای نمونه‌های مورد بررسی تایید می‌کند (شکل ۱۷).



شکل ۱۶ نمودار تعیین محیط زمین ساختی ترکیب سنگ مادر [۱۲] که بر پایه آن، نمونه‌ها در محیط کرانه فعال قاره قرار دارند.



شکل ۱۷ نمودار تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ مادر هورنفلس‌های مورد بررسی در هاله دگرگونی مجاورتی میشو [۱۴]. که بر پایه آن، ترکیب همه نمونه‌ها در گستره کرانه فعال قاره‌ای جای دارد.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.4.645]

برداشت

نفوذ توده گرانیتوئیدی میشو به درون سازند کهر باعث دگرگونی مجاورتی سنگ‌های دربرگیرنده از رخساره آلبیت-اپیدوت هورنفلس تا رخساره پیروکسن هورنفلس شده است. میگماتیت‌های پاره گدازشی در درجه دگرگونی‌های بالا و نزدیک به برخوردگاه توده تشکیل شده‌اند. سنگ‌های دگرگونی مجاورتی میشو در جنوب عیش آباد به ترتیب افزایش درجه دگرگونی و ظهور فازهای دگرگونی عبارتند از: (۱) سنگ‌های اسلیت با دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین که سنگ مادر سنگ - های دگرگونی مجاورتی را تشکیل می‌دهند، (۲) بیوتیت-کردیریت هورنفلس یا اسلیت لکه‌دار که با ظهور بیوتیت و کردیریت مشخص می‌شود، (۳) سنگ‌های آندالوزیت-کردیریت-بیوتیت هورنفلس که دارای شکفته بلورهای درشت آندالوزیت و کردیریت است و (۴) سنگ‌های سیلمانیت - فلدسپار پتاسیم هورنفلس که در درجه‌های دگرگونی بالا با میگماتیت‌های پاره گدازشی همراه هستند. سازند کهر سنگ مادر اصلی سنگ‌های هورنفلسی مورد بررسی را تشکیل داده و ترکیب شیمیایی آن بر اساس نمودارهای زمین‌شیمیایی مختلف منطبق با ماسه سنگ تیره و ماسه سنگ تیره تا ماسه سنگ آهن‌دار تعیین می‌شود. سنگ‌های سنگ مادر هورنفلس - های مورد بررسی با جایگاه زمین‌ساختی کرانه فعال قاره‌ای همخوانی دارند.

قدردانی

این مقاله حاصل تلاش‌ها و حمایت‌های بسیاری از افراد و نهادهای محترم است که بدون آنها این پژوهش به سرانجام نمی‌رسید. نخستین سپاس خود را به سردبیر محترم مجله پژوهشی و داوران گرامی تقدیم می‌کنیم که با دقت نظر، وقت و انرژی خود را صرف ارتقای کیفیت این مقاله کردند. بازخوردهای سازنده و ارزشمند آنان نه تنها به تکمیل این پژوهش کمک کرد، بلکه مسیر پیشرفت ما را روشن‌تر ساخت. همچنین از اعضای گرانقدر گروه تحقیقاتی که در تمامی مراحل پژوهش از جمع‌آوری داده‌ها تا تجزیه و تحلیل نتایج ما را یاری کردند، بی‌نهایت سپاسگزاریم. حمایت‌های علمی آنها در این مسیر گرانبها بود.

مراجع

[1] Pattison David RM., *"Stability of andalusite and sillimanite and the Al2SiO5 triple point: constraints from the Ballachulish aureole, Scotland"*, The Journal of Geology 100.4 (1992): 423-446.

[2] Nabavi M., *"Introductory to the Geology of Iran. Geological Survey of Iran"*, Publish by the Geology Organization and Mineral Exploration (1976): 109

[3] Shahzeidi M., Moayyed M., *"Late Ediacaran crustal thickening in Iran: Geochemical and isotopic constraints from the ~550 Ma Mishu granitoids (northwest Iran)"*, international geology review

[4] Eftekharnejad J., et al., *"Geological map of Tabriz-Poldasht, No."*, B1 & B 2 (1989): 1.

[5] Asadian O., Mirzaee A.R., Mohajjel M., Hadjialilu B., *"Geological map of Marand 1:100000 series"*, Geological Quadrangle Map of Iran No. 5166, Geological Survey of Iran (1995).

[6] Harte B., Pattison D. R. M., Linklater C. M., *"Field relations and petrography of partially melted pelitic and semi-pelitic rocks"*, Equilibrium and kinetics in contact metamorphism: The Ballachulish igneous complex and its aureole, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1991. 181-209.

[7] Vernon R. G., *"Endocrine control of metabolic adaptation during lactation"*, Proceedings of the Nutrition Society 48.1 (1989): 23-32.

[8] Hill Theodore P., Robert P. Kertz., *"Stop rule inequalities for uniformly bounded sequences of random variables"* Transactions of the American Mathematical Society 278.1 (1983): 197-207.

[9] Pettijohn F. J., *"The Archean of the Canadian Shield: a resume"*, Geological Society of America Memoirs 135 (1972): 131-150.

[10] Herron Michael M., *"Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data"*, Journal of Sedimentary Research 58.5 (1988): 820-829.

[11] Bhatia Mukul R., Keith AW Crook, *"Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins"*, Contributions to mineralogy and petrology 92.2 (1986): 181-193

[12] Roser Barry P., Russell J. Korsch., *"Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data"*, Chemical geology 67.1-2 (1988): 119-139.

[13] Taylor Stuart Ross, Scott M. McLennan., *"The geochemical evolution of the continental crust"*, Reviews of geophysics 33.2 (1995): 241-265.

[14] Maynard J., Barry Renzo Valloni., Ho-Shing Yu., *"Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins"*, Geological Society, London, Special Publications 10.1 (1982): 551-561.